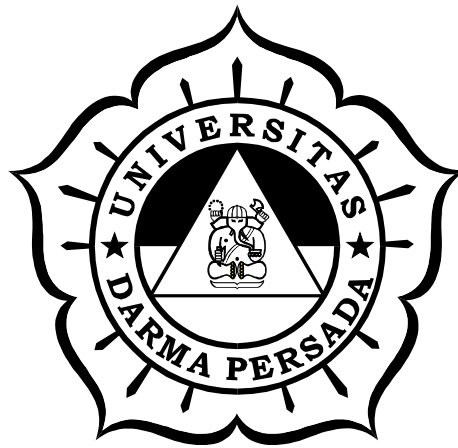


DIKTAT KULIAH
MATERIAL TEKNIK



TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
2012

DIKTAT KULIAH

MATERIAL TEKNIK

Disusun :

ASYARI DARYUS

Jurusan Mesin Fakultas Teknik
Universitas Darma Persada
Jakarta.



KATA PENGANTAR

Assalaamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillah, atas rahmat Allah SWT penulis telah dapat menyelesaikan pembuatan buku/diktat ini. Buku ini dibuat bertujuan untuk menjadi sumber informasi dalam perkuliahan, terutama sumber informasi yang menggunakan bahasa Indonesia dalam bidang teknik, sehingga dapat membantu mahasiswa dalam menuntut ilmu di perguruan tinggi.

Diktat/buku ini disusun sebagai sumbangan satu lagi buku ajaran yang ditujukan untuk menambah referensi bagi mahasiswa jurusan teknik mesin, khususnya bagi yang mengikuti kuliah Material Teknik.

Isu buku ini meliputi pokok-pokok kuliah Material Teknik yang antara lain terdiri dari Struktur kristal, ketidaksempurnaan bahan padat, sifat mekanik logam, diagram fase, transformasi fase proses thermal, logam, besi, logam non-besi, keramik, komposit, kode dan standar.

Penulis sadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran yang bertujuan memperbaiki isi buku ini akan diterima dengan senang hati. Kepada semua pihak yang telah memberikan bantuannya sehingga buku ini dapat diterbitkan, penulis ucapkan banyak-banyak terima kasih.

Akhir kata, mudah-mudahan buku ini bisa menjadi penuntun bagi mahasiswa dan memberikan manfaat sebagaimana yang diharapkan, dan menjadi amal jariah bagi penulis disisi Allah SWT. Kalau ada hal-hal yang tidak berkenan bagi pembaca buku ini, penulis minta dibukakan pintu maaf yang sebesar-besarnya.

Wabillahi taufiq walhidayah, wassalaamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Jakarta, Maret 2009

Ir. Asyari Daryus SE. MSc.

DAFTAR ISI

BAB I	: Pendahuluan.	1
BAB II	: Struktur Kristal Padatan.	3
BAB III	: Ketidaktersempurnaan Bahan Padat.	24
BAB IV	: Sifat Mekanik Logam.	34
BAB V	: Diagram Fase.	49
BAB VI	: Transformasi Fase Pada Logam.	72
BAB VII	: Proses Thermal Logam Paduan.	89
BAB VIII	: Logam Besi.	98
BAB IX	: Logam Non-Ferrous.	117
BAB X	: Keramik.	132
BAB XI	: Komposit.	147
BAB XII	: Kode dan Standar.	153

BAB I

PENDAHULUAN

PENDAHULUAN

Bahan / material merupakan kebutuhan bagi manusia mulai zaman dahulu sampai sekarang. Kehidupan manusia selalu berhubungan dengan kebutuhan bahan seperti pada transportasi, rumah, pakaian, komunikasi, rekreasi, produk makanan dll.

Perkembangan peradaban manusia juga bisa diukur dari kemampuannya memproduksi dan mengolah bahan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. (jaman batu, perunggu dsb).

Pada tahap awal manusia hanya mampu mengolah bahan apa adanya seperti yang tersedia di alam misalnya : batu, kayu, kulit, tanah dsb. Dengan perkembangan peradaban manusia bahan - bahan alam tsb bisa diolah sehingga bisa menghasilkan kualitas bahan yang lebih tinggi.

Pada 50 tahun terakhir para saintis menemukan hubungan sifat - sifat bahan dengan elemen struktur bahan. Sehingga bisa diciptakan puluhan ribu jenis bahan yang mempunyai sifat - sifat yang berbeda.

Ilmu dan Rekayasa Material

- Material science (Ilmu Material): disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara struktur material dengan sifat – sifat material.
- Material engineering (Rekayasa Material) : dengan dasar hubungan struktur dan sifat bahan, mendisain struktur bahan untuk mendapatkan sifat – sifat yang diinginkan.
- Struktur bahan : pengaturan / susunan elemen – elemen di dalam bahan.

Tinjauan struktur bahan dibedakan atas :

- Struktur subatomik : ditinjau dari susunan elektron dengan inti
 - Level atom : ditinjau dari pengaturan atom atau molekul satu sama lain
 - Mikroskopik : ditinjau dari kumpulan group – group atom
 - Makroskopik : ditinjau dari struktur yang bisa dilihat dengan mata telanjang.
- Sifat bahan : dilihat dari kemampuan bahan menerima perlakuan dari luar.

Sifat – sifat bahan padat bisa di kelompokkan atas 6 kategori :

- sifat mekanik
- sifat listrik
- sifat termal / panas
- sifat magnet
- sifat optik
- sifat deterioratif (penurunan kualitas).

Mengapa belajar tentang bahan ?

Beberapa alasan mengapa belajar tentang bahan :

- Banyak masalah bahan yang ditemui oleh insinyur di lapangan
Contoh : masalah transmisi roda gigi.
- Untuk bisa memilih bahan sesuai dengan spesifikasi aplikasi.

Klasifikasi bahan

Bahan bisa diklasifikasikan sbb :

- Logam : konduktor yang baik, tidak transparan.
- Keramik : campuran / senyawa logam + non logam.
- Polimer : adalah senyawa karbon dengan rantai molekul panjang, termasuk bahan plastik dan karet.
- Komposit : adalah campuran lebih dari satu bahan. (misal: keramik dengan polimer)
- Semi konduktor : adalah bahan-bahan yang mempunyai sifat setengah menghantar. → elektronik : IC, transistor
- Biomaterial : bahan yang digunakan pada komponen-komponen yang dimasukkan ketubuh manusia untuk menggantikan bagian tubuh yang sakit atau rusak.

BAB II

STRUKTUR KRISTAL PADATAN

STRUKTUR ATOM

Setiap atom terdiri dari inti yang sangat kecil yang terdiri dari proton dan neutron, dan di kelilingi oleh elektron yang bergerak. Elektron dan proton mempunyai muatan listrik yang besarnya $1,60 \times 10^{-19}$ C dengan tanda negatif untuk elektron dan positif untuk proton sedangkan neutron tidak bermuatan listrik. Massa partikel-partikel subatom ini sangat kecil: proton dan neutron mempunyai massa kira-kira sama yaitu $1,67 \times 10^{-27}$ kg, dan lebih besar dari elektron yang massanya $9,11 \times 10^{-31}$ kg.

Setiap unsur kimia dibedakan oleh jumlah proton di dalam inti, atau **nomor atom** (Z). Untuk atom yang bermuatan listrik netral atau atom yang lengkap, nomor atom adalah sama dengan jumlah elektron. Nomor atom merupakan bilangan bulat dan mempunyai jangkauan dari 1 untuk hidrogen hingga 94 untuk plutonium yang merupakan nomor atom yang paling tinggi untuk unsur yang terbentuk secara alami.

Massa atom (A) dari sebuah atom tertentu bisa dinyatakan sebagai jumlah massa proton dan neutron di dalam inti. Walaupun jumlah proton sama untuk semua atom pada sebuah unsur tertentu, namun jumlah neutron (N) bisa bervariasi. Karena itu atom dari sebuah unsur bisa mempunyai dua atau lebih massa atom yang disebut **isotop**. **Berat atom** berkaitan dengan berat rata-rata massa atom dari isotop yang terjadi secara alami. **Satuan massa atom (sma)** bisa digunakan untuk perhitungan berat atom. Suatu skala sudah ditentukan dimana 1 sma didefinisikan sebagai 1/12 massa atom dari isotop karbon yang paling umum, karbon 12 (^{12}C) ($A = 12,00000$). Dengan teori tersebut, massa proton dan neutron sedikit lebih besar dari satu, dan

$$A \cong Z + N$$

Berat atom dari unsur atau berat molekul dari senyawa bisa dijelaskan berdasarkan sma per atom (molekul) atau massa per mol material. Satu mol zat terdiri dari $6,023 \times 10^{23}$ atom atau molekul (bilangan Avogadro). Kedua teori berat atom ini dikaitkan dengan persamaan berikut:

$$1 \text{ sma/atom (molekul)} = 1 \text{ g/mol}$$

Sebagai contoh, berat atom besi adalah 55,85 sma/atom, atau 55,85 g/mol. Kadang-kadang penggunaan sma per atom atau molekul lebih disukai; pada kesempatan lain g/mol (atau kg/mol) juga digunakan; satuan yang terakhirlah yang akan digunakan pada buku ini.

IKATAN ATOM PADA BAHAN PADAT

GAYA DAN ENERGI IKAT

Ketika atom didekatkan dari suatu jarak yang tak terbatas. Pada jarak jauh, interaksi bisa diabaikan, tetapi ketika atom saling mendekati, masing-masing memberikan gaya ke yang lainnya. Gaya ini ada dua macam, tarik atau tolak, dan besarnya merupakan fungsi jarak antar atom. Sumber gaya tarik F_A tergantung pada jenis ikatan yang ada antara dua atom. Besarnya berubah dengan jarak, seperti yang digambarkan secara skematis pada Gambar 2.8a. Akhirnya, kulit elektron terluar dari kedua atom mulai tumpang tindih, dan gaya tolak yang kuat F_R mulai timbul. Gaya netto F_N antar dua atom adalah jumlah kedua komponen tarik dan tolak, yaitu :

$$F_N = F_A + F_R$$

yang juga merupakan fungsi jarak antar atom sebagaimana di plot pada Gambar 2.8a. Jika F_A dan F_R sama besar, tidak ada gaya netto, sehingga:

$$F_A + F_R = 0$$

Kemudian kondisi kesetimbangan muncul. Pusat kedua atom tetap terpisah pada jarak keseimbangan r_o seperti ditunjukkan gambar 2.8a. Pada sebagian besar atom, r_o kira-kira 0,3 nm (3\AA). Ketika sudah berada pada posisi ini, kedua atom akan melawan semua usaha untuk memisahkannya dengan gaya tarik, atau untuk mendorongnya dengan gaya tolak.

Kadang-kadang lebih menyenangkan untuk menggunakan energi potensial antara dua atom daripada gaya. Secara matematik, energi (E) dan gaya (F) dihubungkan dengan:

$$E = \int F \, dr$$

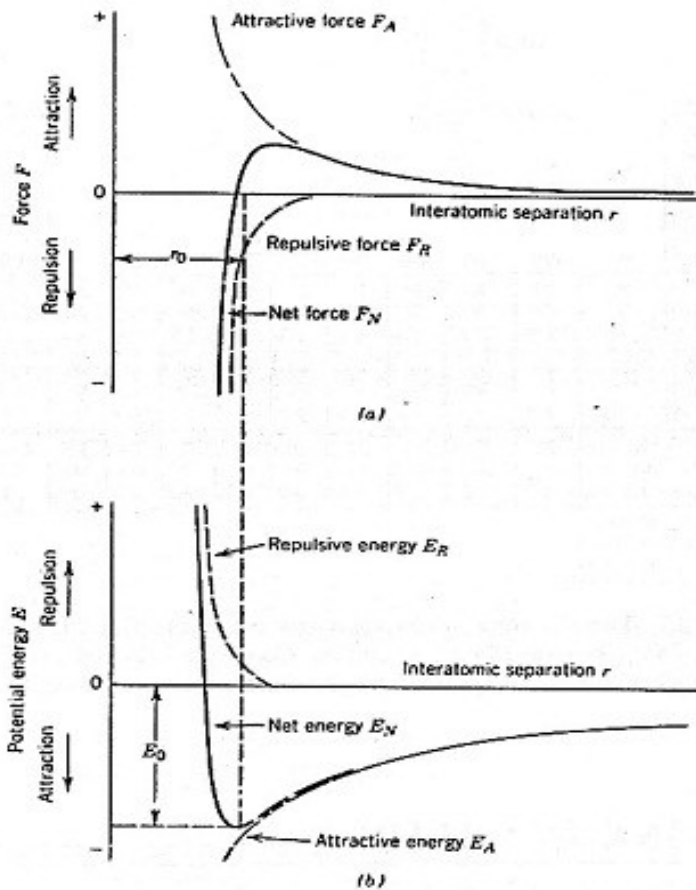


FIGURE 2.8 (a) The dependence of repulsive, attractive, and net forces as a function of interatomic separation for two isolated atoms. (b) The dependence of repulsive, attractive, and net potential energies as a function of interatomic separation for two isolated atoms.

Atau untuk sistem atom,

$$\begin{aligned}
 E_N &= \int_{\infty}^r F_N dr \\
 &= \int_{\infty}^r F_A dr + \int_{\infty}^r F_R dr \\
 &= E_A + E_R
 \end{aligned}$$

dimana E_N , E_A dan E_R masing-masing adalah energi netto, energi tarik dan energi tolak bagi dua atom yang terisolasi dan berdekatan.

Gambar 2.8b menggambarkan energi potensial tarik, tolak dan energi potensial netto sebagai fungsi jarak antar atom untuk dua atom. Untuk kurva netto, yaitu jumlah kedua energi, mempunyai energi potensial dititik minimum. Pada posisi ini spasi kesetimbangan yang sama, r_0 , bersesuaian dengan jarak atom pada kurva energi potensial minimum. **Energi Ikat** untuk kedua atom ini, E_0 , bersesuaian dengan energi pada titik minimum ini (juga diperlihatkan pada gambar 2.8b), dimana menyatakan energi yang diperlukan untuk memisahkan kedua atom ini kejarak yang tak terbatas.

Besar energi ikat ini dan bentuk energi vs kurva jarak antar atom berbeda dari satu material ke material lainnya, kedua variabel ini bergantung kepada jenis ikatan atom. Zat padat dibentuk dengan energi ikat yang besar, sedangkan energi ikat yang kecil lebih disukai oleh gas, kondisi cair berlaku bagi energi yang besarnya menengah. Pada umumnya untuk material padat, temperatur leleh dan sifat ikatannya mencerminkan besarnya energi ikat.

IKATAN PRIMER

a. Ikatan Ion

Biasanya ditemukan pada senyawa yang dibangun oleh unsur logam dan bukan logam. Atom logam akan memberikan elektron valensinya ke atom-atom non logam. Pada proses ini semua atom akan menjadi stabil atau mempunyai konfigurasi gas mulia dan bermuatan listrik, yaitu atom-atom ini menjadi ion. Sodium klorida (NaCl) adalah material ion klasik. Atom sodium bisa mendapatkan struktur elektron neon (dan muatan positif tunggal) dengan menyerahkan satu elektron valensi $3s$ ke atom klorin. Setelah penyerahan elektron ini, ion klorin akan bermuatan negatif dan dengan konfigurasi elektron menyerupai argon. Pada sodium klorida, semua sodium dan klorin berada dalam bentuk ion. Jenis ikatan ini digambarkan secara skematik pada Gambar 2.9.

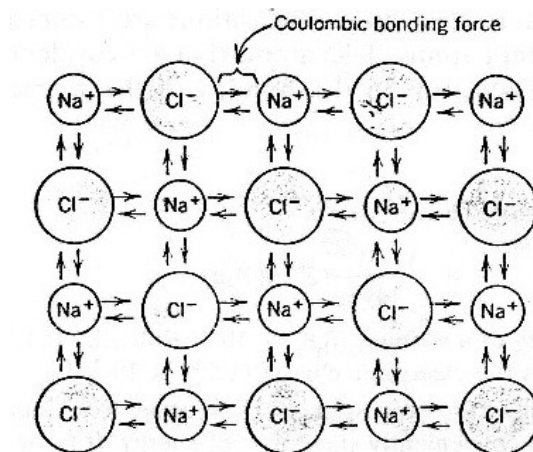


FIGURE 2.9 Schematic representation of ionic bonding in sodium chloride (NaCl).

Gaya ikat tarik menarik adalah coulombik; yaitu ion positif dan negatif tarik menarik satu sama lain karena adanya muatan listrik netto. Untuk dua ion yang terisolasi, energi tarik EA adalah fungsi jarak atom sesuai dengan :

$$E_A = -\frac{A}{r}$$

dan dengan analogi yang sama, energi tolak adalah :

$$E_R = \frac{B}{r^n}$$

Pada perumusan diatas, A , B dan n adalah konstanta yang harganya tergantung pada masing-masing sistem ion. Harga n kira-kira 8.

Material ion mempunyai karakteristik keras dan rapuh, secara listrik dan termal adalah isolator.

b. Ikatan Kovalen

Pada ikatan kovalen, konfigurasi elektron stabil diperoleh dengan membagi elektron antara atom yang berdekatan. Dua atom yang berikatan kovalen masing-masing akan menyumbangkan minimal satu elektron keikatan, dan elektron yang dipakai bersama bisa di anggap dipunyai bersama oleh kedua atom. Ikatan kovalen digambarkan secara skematik pada Gambar 2.10 untuk molekul metana (CH_4). Atom karbon mempunyai empat elektron valensi, sedangkan setiap atom hidrogen mempunyai sebuah elektron valensi. Setiap atom hidrogen bisa mendapatkan konfigurasi elektron helium (dua elektron valensi $1s$) ketika atom karbon membaginya dengan satu elektron. Karbon sekarang mempunyai empat tambahan elektron, satu dari setiap hidrogen sehingga total elektron valensi menjadi delapan, dan struktur elektronnya adalah neon.

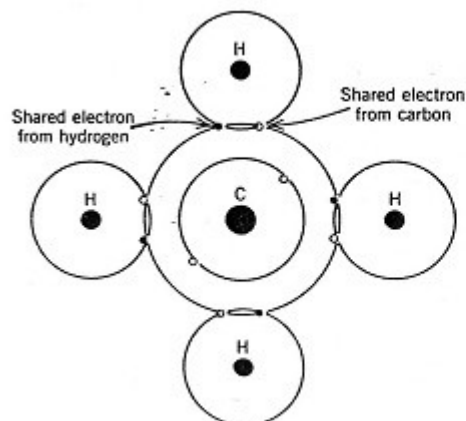


FIGURE 2.10 Schematic representation of covalent bonding in a molecule of methane (CH_4).

Jumlah ikatan kovalen yang mungkin untuk suatu atom ditentukan oleh jumlah elektron valensi. Untuk elektron valensi N' , sebuah atom bisa berikatan kovalen paling banyak $8 - N'$ dengan atom lainnya. Contohnya: $N' = 7$ pada klorin, dan $8 - N' = 1$, artinya satu atom Cl bisa berikatan hanya dengan satu atom lainnya seperti Cl_2 . Dengan cara yang sama untuk atom karbon $N' = 4$, dan setiap atom karbon mempunyai $8 - 4$ yaitu empat elektron untuk dibagi. Intan adalah struktur yang berinteraksi secara tiga dimensi dimana setiap atom karbon berikatan kovalen dengan atom karbon lainnya. Susunan intan ini diperlihatkan pada Gambar 13.15.

Ikatan kovalen bisa sangat kuat seperti pada intan, dimana intan sangat keras dan mempunyai temperatur leleh yang sangat tinggi yaitu $>3550^\circ\text{C}$ (6400°F), atau ikatan kovalen bisa sangat lemah seperti pada bismut, dimana akan meleleh pada 270°C (518°F). Material polimer bercirikan ikatan ini, dimana struktur molekul dasar yang dipunyai rantai karbon yang panjang diikat bersama-sama secara kovalen dengan dua dari empat ikatan yang tersedia untuk setiap atomnya.

Adalah mungkin ikatan antar atom mempunyai ikatan yang sebagian berikatan ion dan sebagian lain berikatan kovalen, dan kenyataannya sangat sedikit senyawa yang menunjukkan murni mempunyai ikatan ion atau ikatan kovalen saja.

c. Ikatan Logam

Ikatan logam, jenis ikatan primer terakhir, ditemukan pada logam dan paduannya. Material logam mempunyai satu, dua atau paling banyak tiga elektron valensi. Dengan model ini, elektron valensi tidak terikat kepada atom tertentu pada bahan padat namun lebih kurang ia akan bebas hanyut/bergerak melewati keseluruhan logam. Elektron ini bisa dianggap dimiliki oleh logam secara keseluruhan, atau membentuk "lautan elektron" atau "awan elektron. Gambar 2.11 memperlihatkan ilustrasi skematik ikatan logam.

Ikatan ini bisa lemah atau kuat, jangkauan energinya antara 68 kJ/mol ($0,7 \text{ eV/atom}$) untuk raksa hingga 850 kJ/mol (8.8 eV/atom) untuk wolfram. Temperatur leleh masing-masing berturut-turut adalah -39 dan 3410°C (-38 dan 6170°F).

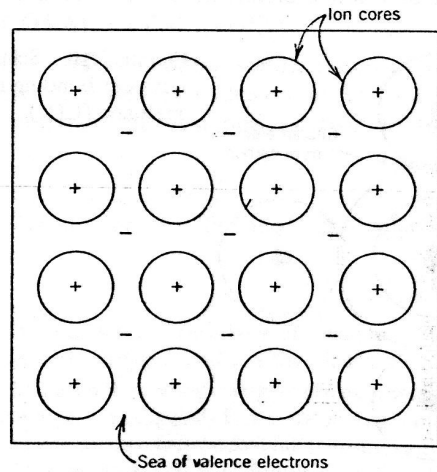


FIGURE 2.11 Schematic illustration of metallic bonding.

IKATAN SEKUNDER ATAU IKATAN VAN DER WAALS

Ikatan sekunder, van der Waals atau fisik adalah lemah jika dibandingkan dengan ikatan primer atau kimia; energi ikat biasanya dalam kisaran 10 kJ/mol (0,1 eV/atom). Ikatan sekunder timbul antara semua atom atau molekul, tapi keberadaannya tidak jelas jika salah satu dari ketiga jenis ikatan primer ada. Ikatan sekunder dibuktikan oleh gas mulia, yang mempunyai struktur elektron yang stabil, dan juga diantara molekul yang strukturnya berikatan kovalen.

Gaya ikatan sekunder timbul dari dipol atom atau molekul. Pada dasarnya sebuah dipol listrik timbul jika ada jarak pisah antara bagian positif dan negatif dari sebuah atom atau molekul. Ikatan di hasilkan dari gaya tarik-menarik coulombik antara ujung positif sebuah dipol dan bagian negatif dari dipol yang berdekatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.12. Interaksi dipol terjadi antara dipol-dipol terimbas, antara dipol terimbas dengan molekul polar (yang mempunyai dipol permanen), dan antara molekul-molekul polar. Ikatan hidrogen, jenis khusus dari ikatan sekunder, ditemukan pada beberapa molekul dimana hidrogen sebagai salah satu komponen. Mekanisme ikatan ini akan dibicarakan secara singkat berikut ini.

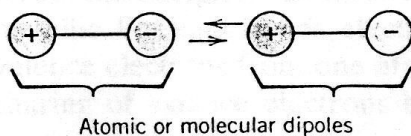


FIGURE 2.12 Schematic illustration of van der Waals bonding between two dipoles.

a. Ikatan Dipol Terimbas yang Berfluktuasi

Sebuah dipol bisa dihasilkan atau diimbaskan ke sebuah atom atau molekul yang simetris secara listrik, yaitu distribusi ruang keseluruhan elektron simetris terhadap

inti bermuatan positif, sebagaimana diperlihatkan Gambar 2.13a. Semua atom mengalami gerak vibrasi konstan, yang akan menyebabkan distorsi seketika dan berumur pendek, terhadap simetri listrik pada beberapa atom atau molekul, dan menimbulkan dipol listrik kecil, seperti yang digambarkan oleh Gambar 2.13b.

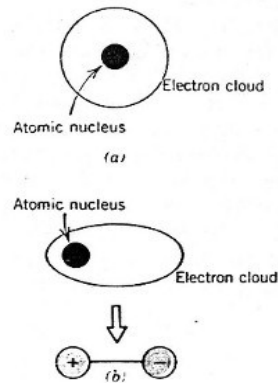


FIGURE 2.13 Schematic representations of (a) an electrically symmetric atom and (b) an induced atomic dipole.

Salah satu dipol ini pada gilirannya bisa menimbulkan sebuah pergerakan pada distribusi elektron dari molekul atau atom yang berdekatan, yang membuat atom atau molekul kedua ini menjadi dipol yang kemudian dengan lemah ditarik atau diikat ke atom atau molekul yang pertama; ini adalah satu jenis ikatan van der Waals. Gaya-gaya tarik ini bisa timbul diantara sejumlah besar atom atau molekul, dimana gaya-gaya ini bersifat sementara dan berfluktuasi terhadap waktu.

Proses pencairan dan, dalam beberapa hal, proses pembekuan dari gas mulia dan molekul lain yang simetris dan netral secara listrik seperti H_2 dan Cl_2 dipercaya disebabkan oleh ikatan jenis ini. Temperatur leleh dan didih adalah sangat rendah pada material dimana ikatan dipol terimbas dominan, dan dari semua ikatan antar molekul yang mungkin terjadi, ikatan ini paling lemah.

b. Ikatan Antara Dipol Molekul Polar dan Dipol Terimbas

Momen dipol permanen timbul pada beberapa molekul karena susunan yang tidak simetris dari daerah yang bermuatan positif dan negatif; molekul ini disebut **molekul polar**. Gambar 2.14 adalah penggambaran skematik dari molekul hidrogen klorida; momen dipol permanen timbul dari muatan netto dari muatan positif dan negatif yang masing-masing berkaitan dengan ujung-ujung hidrogen dan klorin dari molekul HCl.

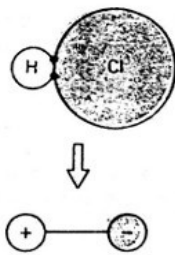


FIGURE 2.14 Schematic representation of a polar hydrogen chloride (HCl) molecule.

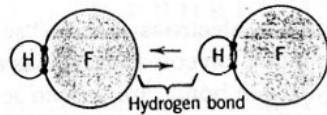


FIGURE 2.15 Schematic representation of hydrogen bonding in hydrogen fluoride (HF).

Molekul polar bisa juga mengimbaskan dipol pada molekul non polar didekatnya, dan sebuah ikatan akan terbentuk sebagai hasil gaya tarik menarik antara dua molekul ini. Lebih jauh, besar ikatan ini akan lebih besar dari pada dipol terimbas yang berfluktuasi.

c. Ikatan Dipol Permanen

Gaya van der Waals juga akan timbul diantara molekul polar yang berdekatan. Energi ikat yang terkait lebih besar secara signifikan dari pada energi ikat yang ada pada dipol terimbas.

Jenis ikatan sekunder yang paling kuat, ikatan hidrogen, adalah kasus khusus dari ikatan molekul polar. Ikatan ini terjadi antara molekul dimana hidrogen berikatan kovalen dengan fluorin (sebagai HF), dengan oksigen (sebagai H₂O), dan dengan nitrogen (sebagai NH₃).

Untuk setiap ikatan H-F, H-O atau H-N, elektron hidrogen tunggal dibagi bersama dengan atom lainnya. Maka, ujung hidrogen dari ikatan pada dasarnya adalah proton terbuka yang bermuatan positif, yang tak terlindungi oleh elektron. Ujung molekul yang bermuatan positif sangat tinggi ini mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap ujung negatif dari molekul yang berdekatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 untuk HF. Besar ikatan hidrogen umumnya lebih besar dari ikatan sekunder jenis lainnya, dan bisa mencapai 51 kJ/mol (0,52 eV/molekul).

MOLEKUL

Molekul bisa didefinisikan sebagai sebuah kelompok atom yang terikat bersama-sama oleh ikatan primer yang kuat. Dalam konteks ini, keseluruhan spesimen padat

yang terikat dengan ikatan logam dan ion bisa dianggap sebagai molekul tunggal. Pada cairan terkondensasi dan bahan padat, ikatan antar molekulnya adalah ikatan sekunder lemah. Konsekuensinya, material molekul mempunyai temperatur leleh dan didih yang rendah. Sebagian besar dari mereka yang mempunyai molekul kecil yang dibentuk oleh beberapa atom adalah gas pada temperatur dan tekanan biasa atau ambien. Disisi lain, banyak polimer modern, merupakan material molekul yang dibangun oleh molekul yang sangat besar, berada pada kondisi padat; beberapa dari sifat-sifat mereka sangat bergantung kuat atas keberadaan ikatan sekunder van der Waals dan hidrogen.

KRISTAL

Material **kristal** adalah material padat dimana atom-atomnya tersusun dalam susunan yang berulang dan periodik pada dimensi yang besar yaitu atom-atom berada pada kondisi “keteraturan jarak panjang”. Untuk material non-kristal atau *amorfus*, keteraturan atom jarak panjang tidak muncul.

SEL SATUAN

Ketika menerangkan struktur kristal, atom (atau ion) dilukiskan sebagai bola padat dan model ini disebut dengan *model bola keras atom* dimana setiap bola akan menyinggung bola terdekat.

Susunan atom pada kristal padat memperlihatkan bahwa sekelompok kecil atom membentuk pola yang berulang. Karena itu dalam menerangkan struktur kristal, lebih mudah untuk membagi struktur ke dalam kesatuan kecil yang berulang yang disebut **sel satuan**. Sel satuan pada sebagian besar struktur kristal berbentuk jajaran genjang atau prisma yang mempunyai tiga set permukaan yang sejajar (gambar 3.1c), dimana dalam hal ini sebuah kubus.

Sel satuan bisa kadang-kadang digambarkan dengan model *sel satuan bola diperkecil* seperti terlihat pada gambar 3.1b.

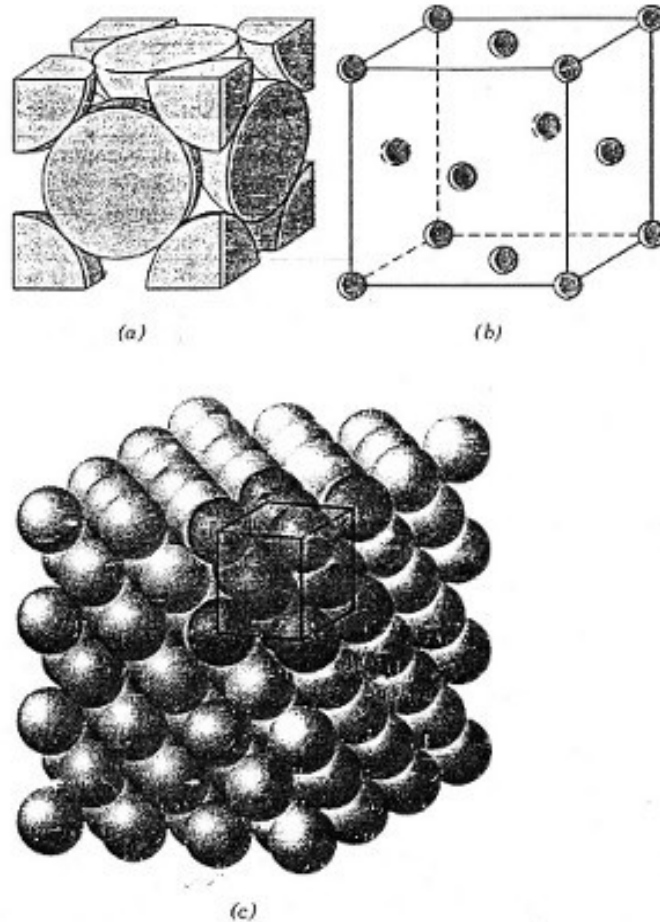


FIGURE 3.1 For the face-centered cubic crystal structure: (a) a hard sphere unit cell representation, (b) a reduced-sphere unit cell, and (c) an aggregate of many atoms. (Figure c adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 51. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)


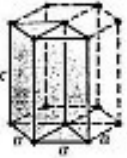

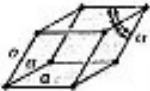

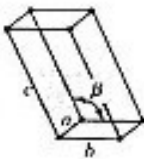

SISTEM KRISTAL

Jika dilihat dari geometri sel satuan, ditemukan bahwa kristal mempunyai tujuh kombinasi geometri yang berbeda seperti diperlihatkan pada tabel 3.2.

Pada sebagian besar logam, struktur kristal yang dijumpai adalah: kubus pusat sisi, FCC (face-centered cubic), kubus pusat ruang, BCC (body-centered cubic) dan tumpukan padat heksagonal, HCP (hexagonal close-packed).

Beberapa logam, dan juga non-logam, bisa mempunyai lebih dari satu struktur kristal, fenomena ini disebut polimorfisme. Jika kondisi ini dijumpai pada bahan padat elemental maka disebut alotropi.

Table 3.2 Lattice Parameter Relationships and Figures Showing Unit Cell Geometries for the Seven Crystal Systems

<i>Crystal System</i>	<i>Axial Relationships</i>	<i>Interaxial Angles</i>	<i>Unit Cell Geometry</i>
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

KUBUS PUSAT SISI, FCC

Struktur kristal ini termasuk kristal kubus dimana terdapat atom disetiap sudut kubus ditambah masing-masing satu buah atom di setiap permukaan/sisi kubus. Sifat ini banyak dijumpai pada logam seperti tembaga, aluminium, perak dan emas. Gambar 3.1 memperlihatkan kristal jenis ini. Panjang sisi kubus a dan jari-jari atom R dihubungkan dengan persamaan:

$$a = 2R\sqrt{2}$$

Fraksi volume bola padat di dalam sel satuan atau disebut **faktor penumpukan atom, FP** dirumuskan:

$$FP = \frac{\text{volume atom didalam sel satuan}}{\text{volume total sel satuan}}$$

Untuk struktur FCC, Faktor Penumpukan Atom adalah 0,74. Logam umumnya mempunyai faktor penumpukan atom yang relatif besar untuk memaksimalkan efek pembungkusan oleh elektron bebas.

KUBUS PUSAT RUANG, BCC

Struktur kristal ini mempunyai atom di setiap sudut kubus ditambah sebuah atom didalam kubus, seperti yang ditunjukkan gambar 3.2.

Panjang sel satuan dirumuskan dengan:

$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

Faktor Penumpukan Atom kristal ini adalah 0,68.

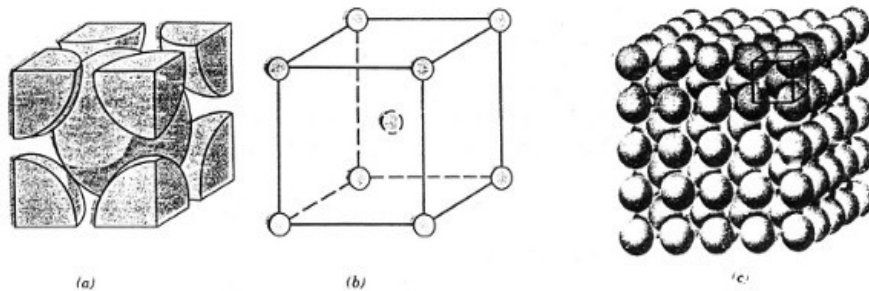


FIGURE 3.2 For the body-centered cubic crystal structure, (a) a hard sphere unit cell representation, (b) a reduced-sphere unit cell, and (c) an aggregate of many atoms. (Figure (c) from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. I, *Structure*, p. 51. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

TUMPUKAN PADAT HEKSAGONAL, HCP

Gambar 3.3 memperlihatkan sel satuan jenis ini. Sel satuan jenis ini adalah jenis sel satuan heksagonal. Permukaan atas dan bawah sel satuan terdiri dari enam atom yang membentuk heksagonal yang teratur dan mengelilingi sebuah atom ditengah-

tengahnya. Bidang lain yang mempunyai tiga atom tambahan pada sel satuan terletak antara bidang atas dengan bidang bawah. Enam atom ekuivalen dipunyai oleh setiap sel satuan ini.

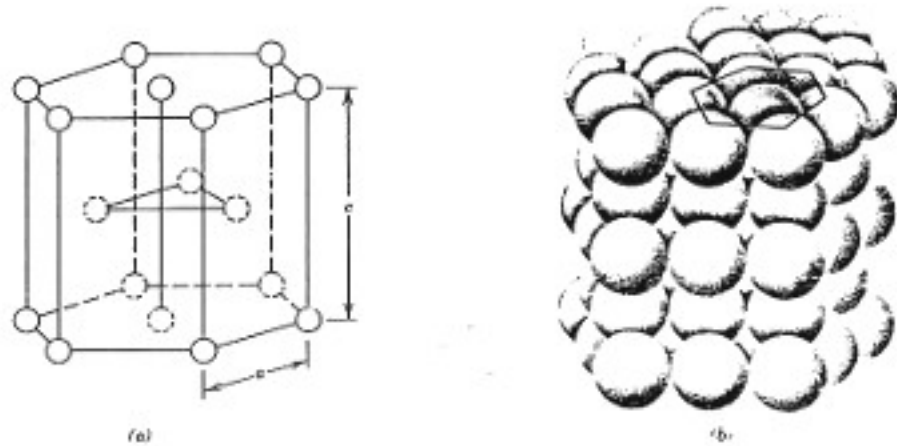


FIGURE 3.5 For the hexagonal close-packed crystal structure, (a) a reduced-sphere unit cell (a and c represent the short and long edge lengths, respectively), and (b) an aggregate of many atoms. (Figure (b) from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. 1. Structure, p. 51. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

Faktor penumpukan atom untuk sel satuan HCP adalah sama dengan sel satuan FCC. Logam yang mempunyai struktur kristal ini antara lain: cadmium, magnesium, titanium dan seng.

KERAPATAN ATOM

Kerapatan atom struktur kristal bisa dicari dengan persamaan:

$$\rho = \frac{nA}{V_C N_A}$$

dimana : n = jumlah atom yang terkait dengan sel satuan

A = berat atom

V_C = volume sel satuan

N_A = bilangan avogadro ($6,023 \times 10^{23}$ atom/mol)

ARAH KRISTALOGRAFI

Ketika berurusan dengan material kristal, sering diperlukan untuk menentukan beberapa bidang kristalografi atau arah kristalografi. Arah kristalografi didefinisikan

sebagai sebuah garis antara dua titik, atau sebuah vektor. Langkah-langkah dalam menentukan indeks arah:

1. Sebuah vektor dengan panjang tertentu diletakkan sedemikian sehingga vektor tersebut melewati titik asal sistem koordinat. Vektor bisa ditranslasikan di sepanjang kisi kristal tanpa perubahan, jika keparalelannya dijaga.
2. Tentukan panjang proyeksi vektor pada masing-masing sumbu; Proyeksi diukur dalam dimensi sel satuan yaitu a , b , dan c .
3. Ketiga angka ini dikali atau dibagi dengan suatu faktor untuk mendapatkan bilangan bulat terkecil.
4. Tiga indeks yang didapat, ditulis tanpa memakai koma dan diberi tanda kurung persegi, $[u\ v\ w]$. u , v , dan w adalah harga proyeksi pada sumbu x , y dan z .

Catatan: Jika indeks negatif, tanda negatif ditulis dengan strip diatas indeks.

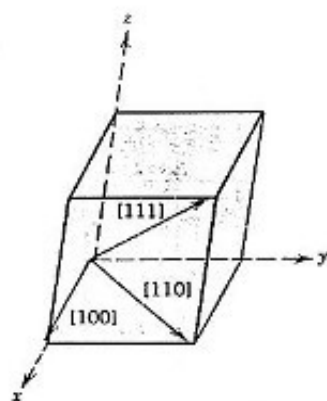
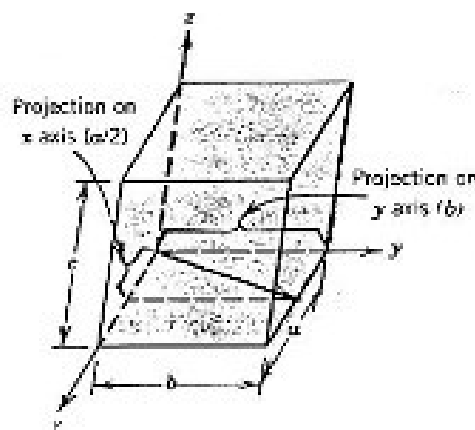


FIGURE 3.5 The $[100]$, $[110]$, and $[111]$ directions within a unit cell.

Contoh:

Carilah indeks arah gambar dibawah ini.



Jawab:

Vektor melewati titik awal sistem koordinat, karena itu tidak dibutuhkan translasi. Proyeksi vektor pada sumbu x , y dan z masing-masing adalah $a/2$, b dan $0c$, yang menjadi $\frac{1}{2}$, 1 dan 0 dalam satuan parameter sel satuan (a , b , c). Untuk mendapatkan bilangan bulat terkecil, angka-angka dikalikan dengan 2 sehingga didapatkan 1 , 2 , 0 yang kemudian diberi tanda kurung menjadi $[1\ 2\ 0]$. Prosedur ini bisa ditunjukkan sebagai berikut:

	x	y	z
proyeksi	$a/2$	b	$0c$
proyeksi (dalam satuan a, b, c)	$\frac{1}{2}$	1	0
pembulatan	1	2	0
diberi kurung	$[1\ 2\ 0]$		

BIDANG KRISTALOGRAFI

Bidang kristalografi dituliskan dengan indeks Miller dalam format $(h\ k\ l)$. Bidang-bidang yang paralel satu sama lain adalah ekuivalen dan mempunyai indeks yang identik.

Prosedur dalam menentukan indeks Miller adalah sebagai berikut:

1. Jika bidang melalui titik awal, buat bidang paralel lainnya di dalam sel satuan dengan translasi. Atau dengan membuat titik awal lain di sudut lain sel satuan.
2. Bidang yang dicari bisa berpotongan atau sejajar dengan sumbu. Panjang bidang yang berpotongan ditulis dalam satuan parameter kisi a , b dan c .
3. Ambil kebalikan dari angka-angka perpotongan tersebut. Bidang yang sejajar dengan sumbu dianggap berpotongan di tak berhingga sehingganya kebalikannya adalah nol.
4. Bila perlu robah ketiga bilangan ini ke bilangan bulat terkecil dengan mengali atau membaginya dengan suatu faktor tertentu.
5. Tulis indeks ini tanpa koma dengan diapit tanda kurung biasa, $(h\ k\ l)$.

Catatan: Jika indeks negatif, tanda negatif ditulis dengan strip diatas indeks.

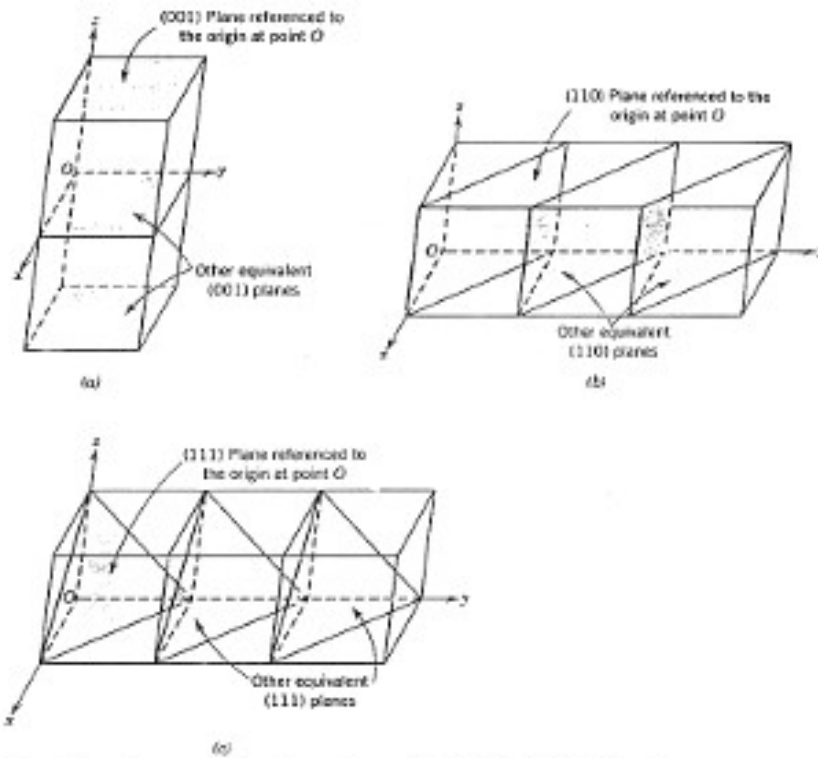
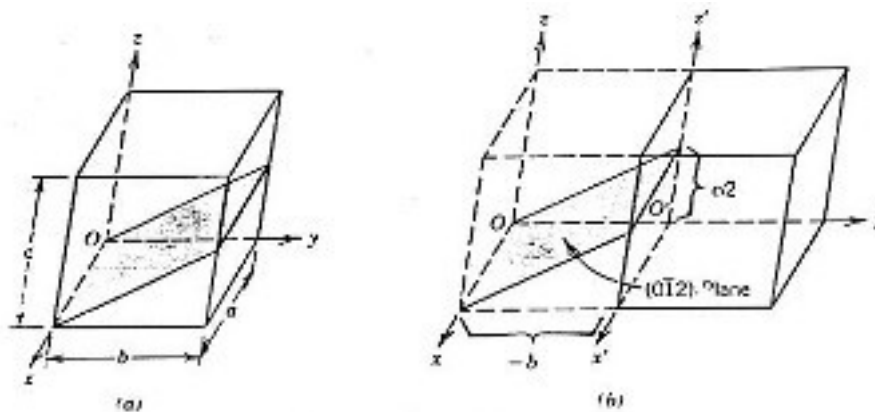


FIGURE 3.8 Representations of a series each of (a) (001), (b) (110), and (c) (111) crystallographic planes.

Contoh:

Tentukan indeks Miller dari bidang yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



Jawab:

Karena bidang melalui titik awal O , titik awal yang baru mesti dibuat, ditulis sebagai O' , diperlihatkan pada gambar b . Bidang ini paralel dengan sumbu x , sehingga perpotongannya di $-a$. Perpotongan dengan sumbu y dan z dengan referensi titik awal O' adalah $-b$ dan $c/2$. Dalam satuan parameter kisi a, b, c maka perpotongan bidang adalah $\infty, \sim, -1$ dan $1/2$, dan karena angkanya sudah bulat tidak perlu lagi langkah pembulatan. Terakhir ditulis dengan tanda kurung menjadi $(0 \bar{1} 2)$.

Langkah-langkah ini secara ringkas disimpulkan sebagai berikut:

	x	y	z
perpotongan	$\sim a$	$-b$	$c/2$
perpotongan (dalam satuan a,b,c)	\sim	-1	$\frac{1}{2}$
pembalikan	0	-1	2
pembulatan (tidak diperlukan)			
tutup kurung	$(0 \quad \bar{1} \quad 2)$		

KRISTAL TUNGGAL

Untuk bahan padat kristal, susunan atom yang periodik dan berulang adalah sempurna atau berlanjut di keseluruhan spesimen tanpa gangguan, hasilnya disebut kristal tunggal. Semua sel satuan bersambung dengan cara yang sama dan mempunyai orientasi yang sama.

POLIKRISTAL

Sebagian besar bahan padat kristal disusun oleh sekumpulan kristal-kristal kecil atau butir. Kristal seperti ini disebut **polikristal**. Berbagai tingkat dalam pembekuan spesimen polikristal diperlihatkan secara skematik oleh gambar 3.16. Pertama-tama kristal kecil atau nuklei terbentuk di berbagai posisi. Kristal ini mempunyai orientasi kristalografi acak, sebagaimana ditunjukkan oleh jaring persegi. Butir-butir kecil tumbuh. Ujung-ujung atom yang berdekatan bersinggungan satu sama lain ketika proses pembekuan mendekati selesai. Hasilnya orientasi kristalografi akan berbeda antara satu butir dengan butir lainnya.

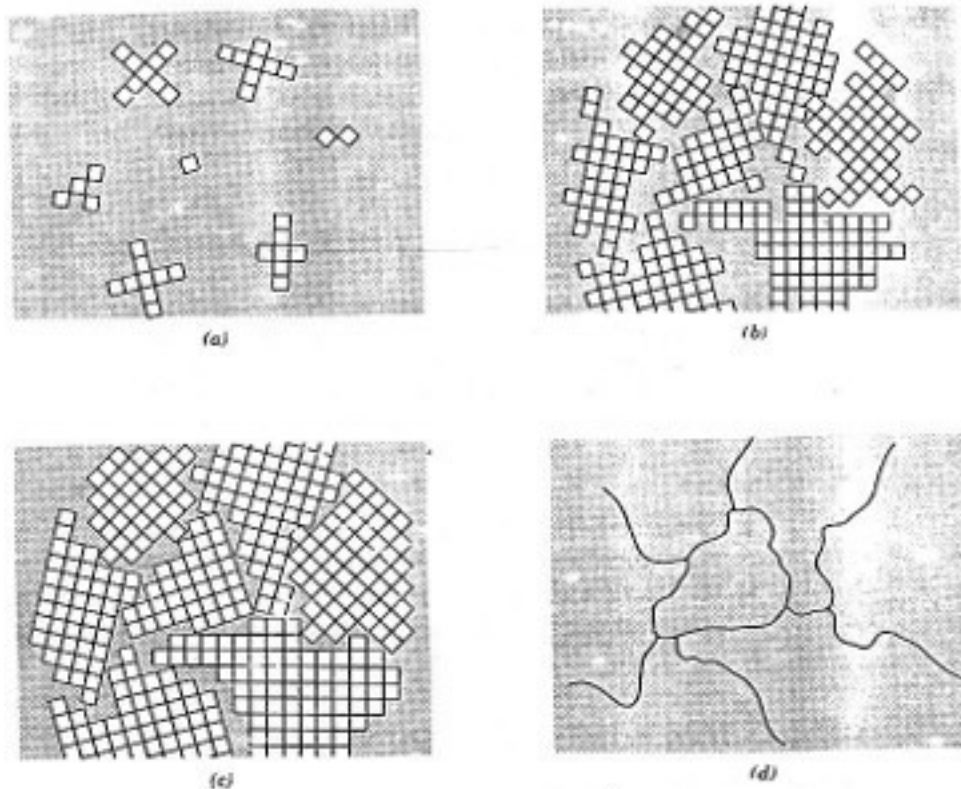


FIGURE 3.16 Schematic diagrams of the various stages in the solidification of a polycrystalline material; the square grids depict unit cells. (a) Small crystallite nuclei. (b) Growth of the crystallites; the obstruction of some grains that are adjacent to one another is also shown. (c) Upon completion of solidification, grains having irregular shapes have formed. (d) The grain structure as it would appear under the microscope; dark lines are the grain boundaries. (Adapted from W. Rosenhain, *An Introduction to the Study of Physical Metallurgy*, 2nd edition, Constable & Company Ltd., London, 1915.)

Soal-soal

1. a. Apa yang dimaksud dengan isotop?
b. Kenapa berat atom unsur bukan merupakan bilangan bulat? Sebutkan dua alasan.
2. Sebutkan perbedaan antara massa atom dan berat atom.
3. a. Berapa jumlah gram dalam 1 amu material?
b. Mol, dalam konteks diktat ini, diambil dalam satuan gram-mole. Berdasarkan hal tersebut, berapa banyak atom yang dijumpai dalam 1 pound-mole dari suatu zat?
4. Sebutkan secara ringkas perbedaan antara ikatan ion, kovalen dan logam.
5. Apa jenis ikatan dari material-material berikut: Calcium Fluoride (CaF_2), perunggu, cadmium Tellurida (CdTe), karet, dan tungsten.
6. Jelaskan kenapa hidrogen fluorida (HF) mempunyai temperatur leleh yang lebih tinggi dari Hidrogen Clorida (HCl) ($19,4$ vs -85° C), walaupun HF mempunyai berat molekul yang lebih rendah.